干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

基于土地生态敏感性评价的生态产品价值分区实现研究
——以阿勒泰市为例

闫天亮， 王承武， 陈梦茜， 陈 暄， 赵文静
（新疆农业大学公共管理学院，新疆 乌鲁木齐 830052）

摘 要：良好的生态环境是维持人类生存与发展的基础，是国家生态文明建设的重要前提。利用GIS技术对阿勒泰市的生态环境进行敏感性评价。结果表明：(1) 阿勒泰市生态环境敏感性影响程度由大到小排序为：土地利用类型>植被覆盖度>河流缓冲区>道路缓冲区>高程>坡度>坡向。(2) 阿勒泰市生态敏感性总体偏高，极度敏感和高度敏感等级区域占研究区总面积的42.45%，在北部山区、中部丘陵区，以及南部额尔齐斯河两岸均有分布；不敏感等级和低度敏感等级区域主要分布在中部丘陵和山间冲积平原区。(3) 基于生态敏感性评价结果将阿勒泰市分生态保护区、生态提升区以及生态防护治理区3个区域，并根据区域特点提出完善生态补偿、特色生态旅游、生态农业、开展生态治理与修复等生态产品价值实现模式，为阿勒泰市生态产品价值实现提供实践参考。

关 键 词：生态敏感性评价；生态产品；生态分区；价值实现模式；阿勒泰市
文章编号：1000－6060(2024)04－0612－10(0612～0621)

生态敏感性是指在人类活动干扰和自然环境变化的情况下，生态系统的敏感性反应程度，它表明了区域出现生态环境问题的难易程度以及可能性大小[1]，敏感性越高的地区越容易产生各种生态问题。生态产品是生态系统在生物生产和人类生产相互作用下，能够增进人类福祉的最终产品或服务[2]。国内对生态敏感性的研究发展迅速，主要由单一敏感性向综合敏感性发展，但敏感性评价因子的选择以及等级的划分并没有统一的标准。在评价因子选择方面，李振亚等[3]选取了生物多样性、土壤盐渍化等6个敏感性指标对中国陆地生态敏感性状况进行评估；李洪庆等[4]选取高程、植被覆盖度、距水域和道路距离等7个指标对雅鲁藏布江山南宽谷流域进行生态敏感性评价；陈瑶瑶等[5]选取高程、土地利用类型等11个因子对江西省南昌市进行生态敏感性分析。在评价因子等级划分方面，如李洪庆等选择以500 m作为高程等级划分间隔，而陈瑶瑶等则将高程等级间隔限制在200 m以内，其根本原因在于不同研究区海拔高度差距不同，其他因子等级划分也需要根据地区实际情况确定。生态敏感性的研究范围逐渐从国家[1]、省级[6]等大范围向县市[7]、景区[8]等更小的研究区发展，跨区域研究也逐渐成为热点[9]。

目前国内外关于生态敏感性研究集中于对研究区敏感性进行分析或规划，并未做深入探究，基于此，本文以阿勒泰市为研究对象，选择在敏感性评价中出现频率最多的高程、坡度、坡向、植被覆盖度、河流缓冲区、土地利用类型、道路缓冲区7个因子构建生态敏感性评价模型，识别出不同敏感等级区域作为生态区划的参考，并根据不同区域特点提出生态产品价值实现模式。将生态敏感性评价与生态产品价值实现创新性结合研究，一方面弥补了当前生态产品价值实现研究缺少西部地区的不足，另一方面为阿勒泰市乃至新疆地区生态产品价值

收稿日期：2023-05-15； **修订日期**：2023-08-23
基金项目：新疆自然科学基金面上项目（2022D01A84）；新疆社科基金项目（21BJL101）；新疆农业大学研究生科研创新项目（XJAUGRI2023034）资助
作者简介：闫天亮（1998-），男，硕士研究生，主要从事土地资源管理等方面的研究. E-mail: ytl_trust@163.com
通讯作者：王承武（1975-），男，教授，主要从事土地利用管理等方面的研究. E-mail: wcwjgxy@xjau.edu.cn

实现提供一定的借鉴，对阿勒泰市生态环境保护与经济发展都具有一定的参考价值和现实意义。

1　研究区概况

阿勒泰市（86°53′~88°38′E，47°27′~48°39′N）地处亚洲大陆腹地，市境南北长146 km，东西宽84 km，属温带亚干旱大区、干旱大区气候带。由于北边有阿尔泰山脉为屏障，南临准噶尔盆地北沿，南北气候条件差异较大：北部山区年降水量大、蒸发量小，南部山间冲积平原则相反（图1）。阿勒泰市水产资源十分丰富，素有新疆“水塔”之称，在2015年被列为水源涵养型重点生态功能区，属于成长型资源型城市，是新疆资源供给和后备基地①。

阿勒泰市作为重点生态功能区，其首要任务是提供生态产品，但由于地貌类型复杂多样，其生态系统本身具有较高的敏感性和脆弱性，加上人类活动干扰强度大、水源涵养功能衰退、森林草原资源过度开发等进一步干扰和破坏了当地的生态环境，使得生态敏感性进一步提高。阿勒泰市位于我国西北边陲，区位相对较差，交通较为闭塞，缺乏高效的产业基础和合理的产业结构，特别是在生态产品的持续供给与价值实现探索方面仍处于起步阶段，与人民日益增长的美好生活需要存在一定差距，因此如何平衡经济发展与生态保护之间的关系成为阿勒泰市当前亟需解决的问题。

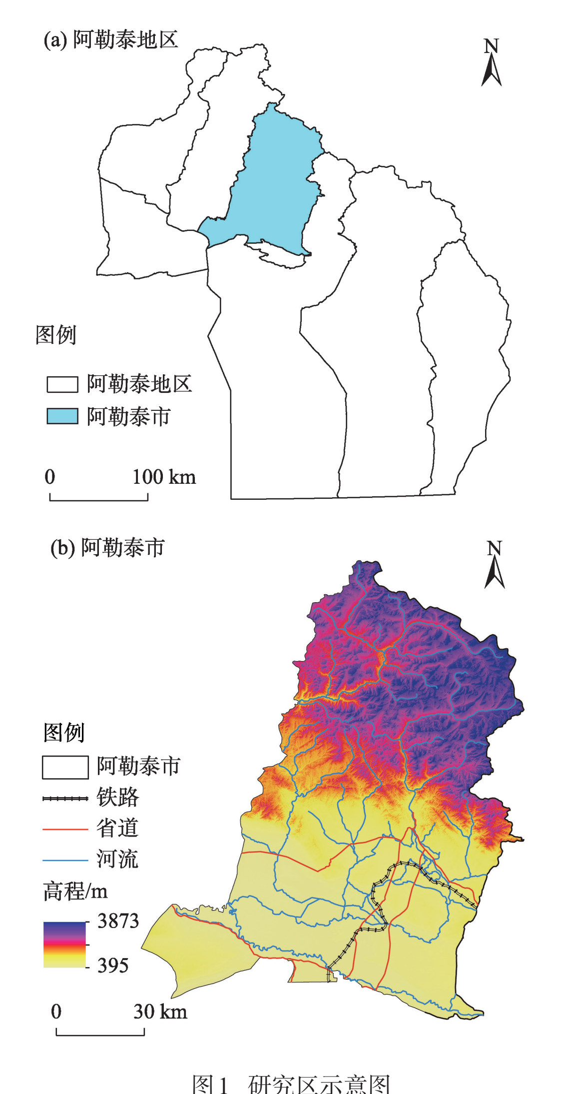


图1　研究区示意图

Fig. 1　Schematic diagram of the study area

① 新疆维吾尔自治区矿产资源总体规划（2016—2020年）。

2　数据与方法

2.1　数据来源及处理

（1）区划数据来源于国家地理信息公共服务平台标准地图服务网站；（2）高程数据来源于地理空间数据云（http://www.gscloud.cn/）；（3）2020年土地利用类型数据来源于GLOBELAND30：全球地理信息公共产品（http://www.globeland30.org/）；（4）遥感数据来源于地理空间数据云Landsat 8 OLI卫星遥感影像；（5）基础地理信息数据来源于国家基础地理信息中心（http://www.ngcc.cn/ngcc/）。在ArcGIS 10.8软件支持下将得到的数据转换为WGS_1984_UTM_ZONE_45N投影坐标系统，并重采样为30 m×30 m像元大小，使得数据保持一致性。

2.2　研究方法

2.2.1　评价因子选择及赋值　生态敏感性指标是生态敏感性评价的基础[10]，遵循综合性、科学性和系统性原则，本文综合考虑阿勒泰市的自然、社会和经济条件，从地形地貌因子、生态环境因子、人类活动因子3个准则层中选取高程、坡度、坡向等7个指标作为研究区域的生态敏感性评价单因子，建立生态敏感性评价指标体系，将7个单因子的生态敏感性划分为5个等级并赋值（表1）。

2.2.2　评价因子权重确定　随着研究的不断深入，权重确定方法也越来越多样化，目前常用的方法有：层次分析法（AHP）[13,15]、主成分分析法[16]、SOM神经网络[17]、模糊综合评价法[18]，以及各种方法的结合使用[12]。本文在权重确定方法上有所创新，采用AHP-CRITIC组合赋权法来确定权重。

表1 阿勒泰市生态敏感性评价指标体系

Tab. 1 Ecological sensitivity evaluation index system in Altay City

目标层	准则层	指标层	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极度敏感	参考依据
生态环境敏感性综合评价	地形地貌因子	高程/m	<500	500~1000	1000~1500	1500~2000	>2000	梅堂军[9]
		坡度/(°)	<8	8~15	15~25	25~45	>45	刘培亮等[7]
		坡向	平地、正南	东南、西南	正东、正西	东北、西北	正北	张涵[11]
	生态环境因子	河流缓冲区/m	>1000	800~1000	500~800	200~500	<200	丁鸿浩等[12]
		植被覆盖度	<0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	>0.8	张广创等[13]
	人类活动因子	土地利用类型	人造地表裸地	耕地	草地	林地	水体、湿地等	亚库普·约麦尔等[14]
		道路缓冲区/m	>1200	1200~900	900~600	600~300	<300	白天等[15]

本文邀请6位相关领域专家给各项单因子打分，根据专家打分构造判断矩阵，科学计算AHP权重并通过了一致性检验；CRITIC权重法是一种客观赋权法，用对比强度和冲突性指标来综合衡量指标的客观权重，同时考虑到了评价指标差异性与相关性。通过AHP-CRITIC权重法结合应用，引入拉格朗日函数与欧氏距离，建立优化决策模型，增强了阿勒泰市生态敏感性评价结果理论上的合理性与科学性。

组合权重计算公式如下：

$$D(\alpha_i,\beta_i)=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\alpha_i-\beta_i)^2} \quad (1)$$

$$D(\alpha_i,\beta_i)^2=(a-b)^2 \quad (2)$$

$$a+b=1 \quad (3)$$

$$\varpi_i=a\alpha_i+b\beta_i \quad (4)$$

式中：n为评价因子总数；i为敏感性评价因子；α_i为第i个因子的主观权重；β_i为第i个因子的客观权重；a为主观偏好程度系数；b为客观偏好程度系数；ϖ_i为第i个因子的组合权重。经计算得到主观偏好程度系数a=0.702，客观偏好程度系数b=0.298。将各数值代入上述公式得到各单因子综合权重值（表2）。

表2 综合权重表

Tab. 2 Comprehensive weight table /%

评级因子			AHP权重	CRITIC权重	综合权重
目标层	准则层	指标层			
生态环境敏感性综合评价	地形地貌因子	高程	3.11	21.08	8.50
		坡度	4.52	12.68	6.97
		坡向	3.55	8.82	5.13
	生态环境因子	河流缓冲区	12.14	16.48	13.44
		植被覆盖度	23.33	6.23	18.20
	人类活动因子	土地利用类型	43.97	15.45	35.41
		道路缓冲区	9.38	19.26	12.35

2.2.3 GIS空间分析方法 利用GIS的表面分析工具从DEM高程数据中提取坡度、坡向数据，重分类后获得其单因子敏感性分布图。将从国家基础地理信息中心获取的水系要素、交通要素经裁剪、合并、投影等预处理之后，用多环缓冲区工具对阿勒泰市河流、道路生态敏感性进行分析。将7个因子按照评价指标体系进行重分类分级赋值后，根据各因子的权重值，用ArcGIS的加权叠加功能对7个因子数据进行处理，得到阿勒泰市每个栅格的生态敏感性综合评价指数，然后基于GIS的自然断点法将综合评价指数值重分类为由高到低的5个等级，得到阿勒泰市综合生态敏感性分布图。

2.2.4 生态敏感性指数 将表2得出的权重值通过ArcGIS加权叠加功能计算阿勒泰市生态敏感性指数，计算公式如下：

$$Z=\sum_{i=1}^{n}\varpi_i\times L_i \quad (5)$$

式中：Z为评价指标敏感性指数；ϖ_i为第i个指标的综合权重；L_i为第i个指标的敏感性等级赋值。

3 结果与分析

3.1 单因子生态敏感性分析

3.1.1 地形地貌因子敏感性分析 高程是影响研究区自然环境的重要因子，高程越高，生态敏感性越强。北部山区有大量的高山牧场，不仅为畜牧业发展提供了优质牧草，也提供了水源涵养、水土保持等诸多公共生态产品。阿勒泰市高程敏感性整体处在中低度以下，其中低度敏感等级区域面积最大（图2a），为3940.95 km²，占总面积的36.52%（表3），主要分布在阿勒泰市东南部冲积平原和西南部地区；高度敏感、极度敏感等级区域主要分布在阿勒泰市北部山区。

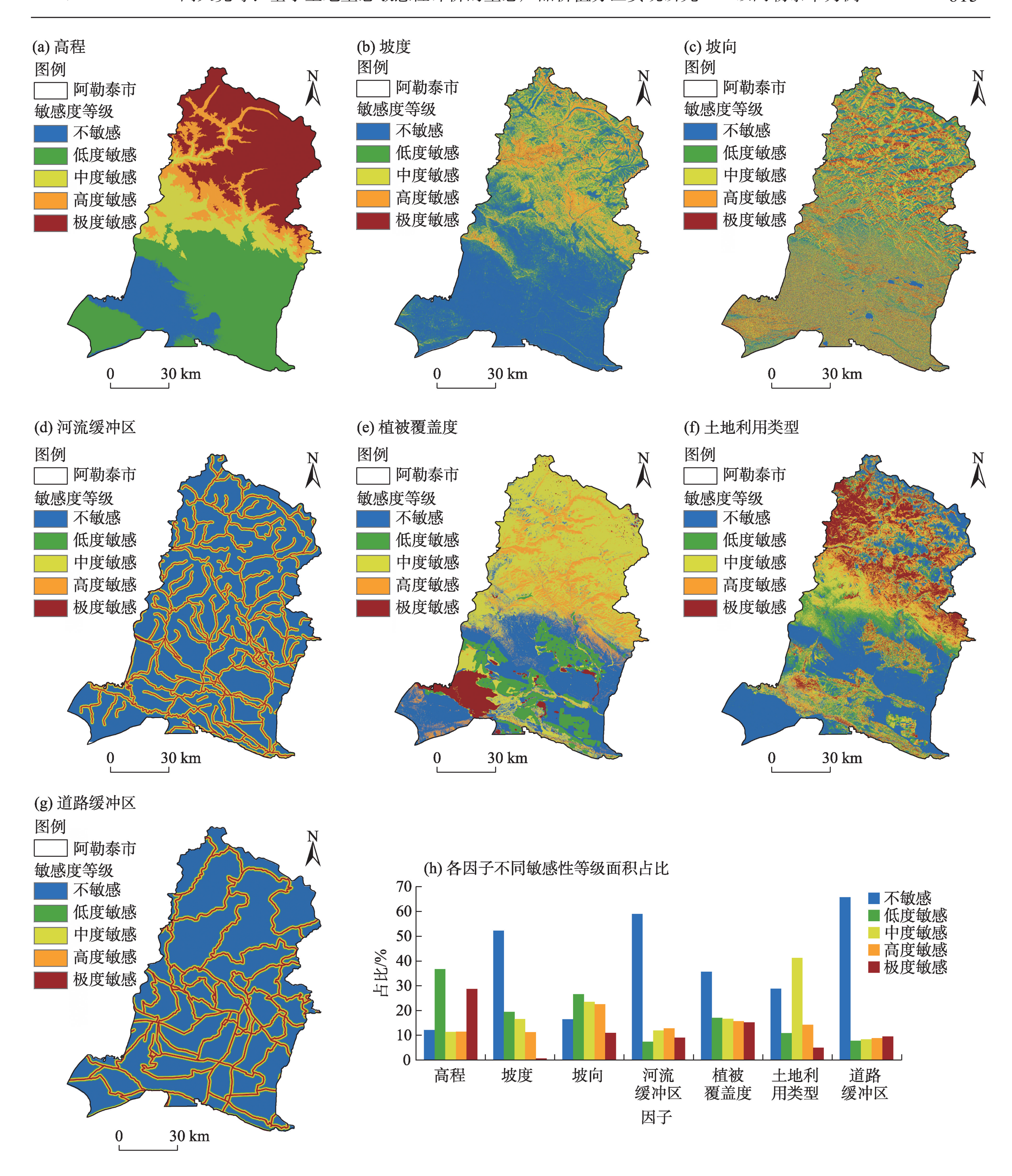


图2　阿勒泰市生态敏感性单因子图

Fig. 2　Single factor map of ecological sensitivity in Altay City

坡度反映出研究区域地表的陡缓程度，坡度越高的地区越不适宜植被生长，人类活动也会受到限制，对生态产品价值实现模式的选择也会产生很大影响。研究区南部属于坡度低于5°的不敏感等级区域（图2b），面积约5624.73 km²，占总面积的52.20%（表3）；阿勒泰市中部、北部山势起伏较大，中度敏感等级区域和高度敏感等级区域交替均匀分布，面积分别为1780.36 km²、1208.12 km²。

坡向对降水走向、太阳光照时长均有不同程度的影响，从而影响生态敏感性[19]。一般来说，北坡

表3 阿勒泰市生态敏感性分级面积及占比汇总

Tab. 3 Summary of ecological sensitivity grading area and proportion in Altay City

评价指标		不敏感		低度敏感		中度敏感		高度敏感		极度敏感	
		面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%
单因子	高程	1305.89	12.10	3940.95	36.52	1218.21	11.29	1230.41	11.40	3095.43	28.69
	坡度	5624.73	52.20	2091.23	19.41	1780.36	16.52	1208.12	11.21	68.92	0.64
	坡向	1772.75	16.45	2860.19	26.54	2531.51	23.49	2425.57	22.51	1183.34	10.98
	河流缓冲区	6360.49	58.94	798.98	7.40	1281.63	11.88	1374.24	12.74	972.96	9.02
	植被覆盖度	3838.39	35.57	1834.80	17.00	1798.75	16.67	1687.69	15.64	1631.73	15.12
	土地利用类型	3099.52	28.72	1172.34	10.86	4442.44	41.17	1538.49	14.26	538.14	4.99
	道路缓冲区	7085.61	65.66	833.94	7.73	894.37	8.29	957.46	8.87	1019.52	9.45
综合	综合敏感性	1956.30	18.15	1551.33	14.40	2689.04	24.95	2946.40	27.34	1627.83	15.11

受光照时间最短,积雪不易融化,植被生长也会受到影响,导致北坡生态系统不稳定,生态敏感性较强,一旦破坏就不易修复。坡向因子在阿勒泰市敏感性评价中所占权重最低,原因在于阿勒泰市地形受阿尔泰山影响,从北至南海拔不断降低,平地与南坡面积较大。阿勒泰市坡向敏感等级以中低度为主(图2c),占总面积的50.03%(表3);低度敏感等级区域面积最大,占总面积的26.54%。

3.1.2 生态环境因子敏感性分析 就河流缓冲因子来说,距离水体越近,植物生存条件越好,该区域的生态环境质量就越高[11],生态敏感性越强。根据图2d,阿勒泰市河流缓冲区高度敏感和极度敏感等级区域面积2347.20 km²,占总面积的21.76%(表3),河流敏感性由河流中心向外逐渐降低。归一化植被指数(Normalized difference vegetation index,NDVI)能够反映植被生长状况、植被覆盖等情况,NDVI数值越高,该区域生态产品的供给数量也就越多,在7个因子中权重排名第二。阿勒泰市植被覆盖度低度敏感、中度敏感和高度敏感等级区域分布较为分散,大多集中在阿勒泰市中西部地区,分别占总面积的17.00%、16.67%、15.64%。

3.1.3 人类活动因子敏感性分析 土地利用类型因子在阿勒泰市生态敏感性评价中所占权重最高,影响最大,原因在于土地利用类型因子直接关系到其所生产的生态产品的类型与质量。阿勒泰市土地利用类型敏感性整体偏高:极敏感度等级区域主要分布在两河流域和北部海拔较高的山区;低敏感度等级区域主要分布在额尔齐斯河(简称额河)与克兰河流域,这里地势平坦、土地肥沃,比较适合人类居住。道路敏感性对生态环境的影响主要体现在噪声污染以及人类可达性,距离公路越近,受噪声污染、垃圾污染的可能性越大,但人类可达性也是影响生态产品价值实现的原因之一,特别是对物质类生态产品的运输效率和生产经营性生态产品如生态旅游等产生直接影响。道路缓冲区整体敏感性不高,不敏感区域占阿勒泰市总面积的65.66%(表3),其他各等级面积占比总体相差不大,均处于10%以下。

3.2 综合敏感性分析

将7个因子进行加权计算得到研究区综合土地生态敏感性指数分布图(图3),阿勒泰市生态敏感性指数范围为1.0~4.6。从图4可以看出,阿勒泰市生态敏感度整体处在中高度水平,低度敏感等级区域面积最小,占总面积的14.40%;中高度敏感等级占比为52.29%,主要分布在北部阿尔泰山以及南部的额河流域;极度敏感等级区域主要分布在北部山

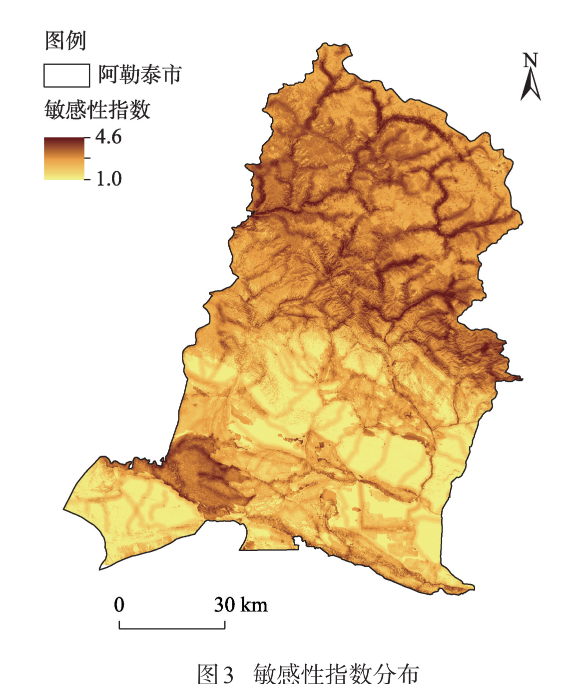


图3 敏感性指数分布

Fig. 3 Distribution map of sensitivity index

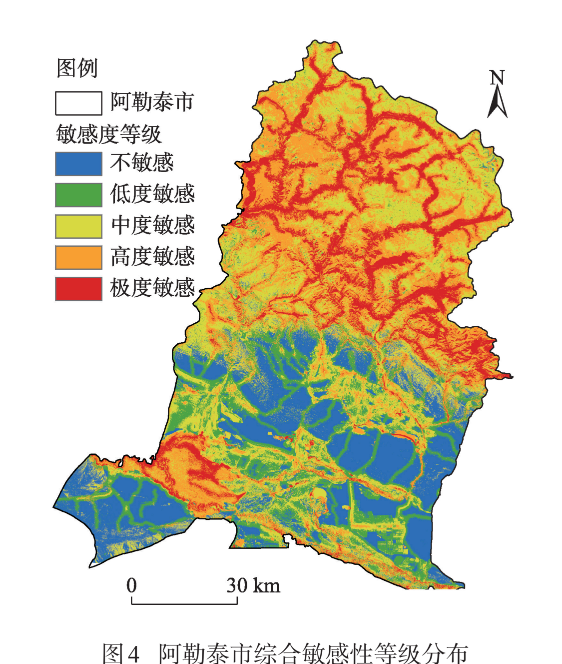


图4　阿勒泰市综合敏感性等级分布

Fig. 4　Comprehensive sensitivity degree distribution map of Altay City

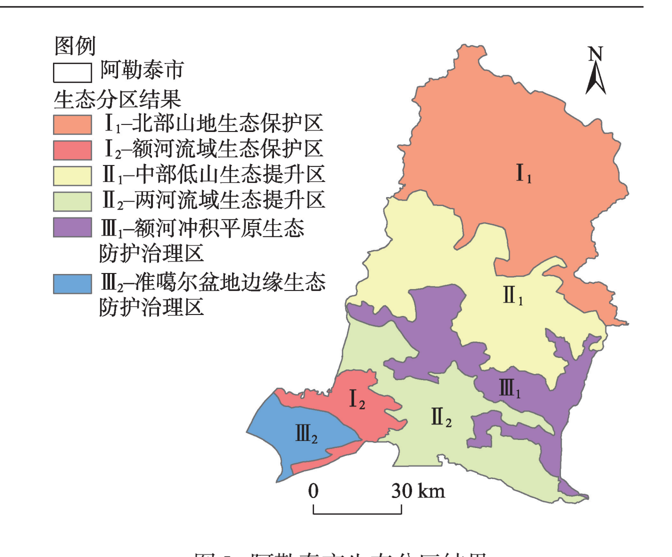


图5　阿勒泰市生态分区结果

Fig. 5　Ecological zoning of Altay City

区和中山带等各类河流的沟谷内，区域内的生存条件较好，森林、草地等资源类型丰富，能生产更多优质的生态产品，可以识别为需要重点保护的区域，进而实现生态产品的持续供给。

4　研究区生态分区

4.1　生态分区

生态分区指在分析研究区域生态特征空间分异规律的基础上，根据主要生态环境因子在不同区域的异质性和相似性，将研究区域划分为不同生态区的过程[20]，为生态系统的研究、评价、修复和管理提供一个合适的空间参考[21]。生态敏感性评价方法综合考虑到了地形地貌、生态资源以及人类活动的影响，将评价结果作为划分生态区的基础和依据，国内众多学者已经开展了多年研究，具有一定的可操作性[1]。

根据研究结果，基于科学性原则、整体性原则和分级区划原则将研究区划分为生态保护区、生态提升区和生态防护治理区3个一级大区，具体分为北部山地生态保护区、额河流域生态保护区、中部低山生态提升区、两河流域生态提升区、额河冲积平原生态防护治理区和准噶尔盆地边缘生态防护治理区6个二级区域（图5）。

4.2　分区结果分析

4.2.1　生态保护区　生态保护区内生态环境良好，森林草地资源丰富，受到人类活动干扰较小，应以加强生态保护为主要目的，其作用在于能够持续生产更多优质的生态产品，总面积约4388.89 km^2（表4），以高度敏感性和极敏感性为主。该区具体包括2个区：其中北部山地生态保护区（$Ⅰ_1$）位于阿勒泰市北部，约占阿勒泰市总面积的1/3，地形地貌多为高山峡谷，海拔相对较高，森林资源十分丰富，是新疆林业重点区域之一。额河流域生态保护区（$Ⅰ_2$）位于额河与克兰河交汇处，这里水资源丰富，是额河科克苏段特有鱼类国家级水产种质资源保护区，也是新疆阿勒泰科克苏湿地国家级自然保护区，生态区位十分重要。

4.2.2　生态提升区　生态提升区受到人类活动干扰较大，应以提升区内生态环境质量为定位，作用在于通过减少人类活动影响使其能够生产更多优质生态产品。生态提升区总面积约4304.27 km^2（表4），综合生态敏感性等级多数为中等，具体分为中部低山生态提升区（$Ⅱ_1$）和两河流域生态提升区（$Ⅱ_2$），地势相对平坦，海拔较低，这里是阿勒泰市重点城镇聚集区域，也是阿勒泰市重要的粮食生产区域。

4.2.3　生态防护治理区　生态防护治理区内生态敏感性等级大多处于低度以下，区域内矿产开发、农田开垦，草原退化造成荒漠化较为严重，具体分为额河冲积平原生态防护治理区（$Ⅲ_1$）和准噶尔盆地边缘生态防护治理区（$Ⅲ_2$），总面积约2086.79 km^2（表4）。

表4 阿勒泰市生态区划面积及敏感性等级区域占比

Tab. 4 Ecological zoning area and proportion of sensitivity level areas in Altay City

二级分区	面积/km²	不敏感占比/%	低度敏感占比/%	中度敏感占比/%	高度敏感占比/%	极度敏感占比/%
Ⅰ₁-北部山地生态保护区	3815.74	0.00	0.01	0.26	0.42	0.30
Ⅰ₂-额河流域生态保护区	573.15	0.08	0.08	0.16	0.41	0.28
Ⅱ₁-中部低山生态提升区	2509.99	0.07	0.15	0.35	0.33	0.11
Ⅱ₂-两河流域生态提升区	1794.28	0.11	0.38	0.34	0.14	0.03
Ⅲ₁-额河冲积平原生态防护治理区	1557.87	0.74	0.21	0.04	0.01	0.00
Ⅲ₂-准噶尔盆地边缘生态防护治理区	528.92	0.74	0.17	0.08	0.01	0.00

其中额河冲积平原生态防护治理区位于阿勒泰市中部，多为荒漠和未利用地。准噶尔盆地边缘生态防护治理区位于阿勒泰市西南角落，处于准噶尔地槽褶皱系北缘，临近沙漠。

5 生态产品价值分区实现模式

习总书记提出绿水青山就是金山银山，冰天雪地也是金山银山的生态理念，在两山理论的指导下中国生态文明建设大步向前，推动了生态环境与社会经济的良性发展。但就目前来说，如何打通“两山”转化通道，探索生态产品价值实现仍是一个难题。当前国内生态产品价值实现的模式主要包括：生态补偿、碳汇交易、绿色基金、生态产业化等等，在全国多地广泛开展取得了不错的效果，为阿勒泰市生态产品价值实现提供了丰富的参考。

5.1 生态保护区：开展GEP核算，细化优化生态补偿

结合国内诸多省份的实践经验来看，明确的自然资源产权是生态产品价值实现的前提，因此应加快自然资源确权登记工作，夯实生态产品价值实现基础。在充分了解中央以及各地方编制的生态系统生产总值(GEP)核算指南基础上，结合本地情况，开展阿勒泰市GEP核算试点工作，并逐步完善核算手段和方法，形成生态产品价值核算地方标准体系，并以GEP核算结果结合生态保护区特点来细化优化生态补偿资金，探索建立GEP核算结果应用机制。

5.2 生态提升区：合理利用生态资源，推动生态产业化发展

5.2.1 中部低山生态提升区：充分利用冰雪资源，发展特色生态旅游 阿勒泰市被誉为“中国雪都”，其中部低山生态提升区海拔适中，坡度类型较多，坡度缓长，雪量大、雪期长、雪质优，在全国乃至全世界都属于滑雪场建设的顶级资源，具备成为国际滑雪产业集聚区的条件。充分利用中部低山区的冰雪资源，将其打造成为特色冰雪旅游胜地，充分发挥“生态+冰雪”优势，大力推进冬季特色旅游发展，将生态优势转化为经济优势，把“冷资源”变为“热产业”，进而实现绿水青山、冰天雪地的综合效益。

5.2.2 两河流域生态提升区：合理利用水资源，推进生态产业发展 阿勒泰市是新疆的丰水区，额河、克兰河、苏木达依列克河3大水系横贯市境，年径流量约6×10^9 m³，水资源极其丰富但利用率较低。在两河流域生态提升区，以水源涵养型重点生态功能区为依托，积极开展人工养殖，发展特有鱼类人工繁殖培育技术，打造阿勒泰市水产品特色品牌。好水养好鱼，好水种好粮，构建生态鱼产品、生态农产品质量认证体系，建立健全物质化生态产品的质量认证制度，制定和完善生态产品质量认证管理办法，积极推进“生态标识”认证[22]。将生态产品的价值附着于丰富的鱼类产品和农业产品，转化为可供市场直接交易的优质生态产品，再通过生态品牌增值，提升生态产品价值转化效率，不断提升生态产品附加值。

5.3 生态防护治理区：加强人工干预，开展生态治理与修复

生态防护治理区内受山脉和周边环境影响，存在大量的裸地和未利用地，降水量少，生态环境较差，在没有人为干预的情况下，生态仍会持续恶化。因此政府部门应设定科学政治方案与多元模式，加强人工干预，以增加生态产品为核心开展生态治理与修复，通过水土污染控制、生物多样性保护、地灾防治等一系列措施系统治理生态防护治理区的自然生态系统。如采用人工干预的方式利用北部阿尔泰山高山融雪河流水在河流缓冲区、道路

缓冲区内建立植物带，构建起“生态通道”，并以此为基础逐渐向外扩展；在准噶尔盆地边缘生态防护治理区内建立起生态缓冲带，阻止生态环境的进一步恶化。

6 讨论与结论

6.1 讨论

阿勒泰市生态敏感性总体较高，敏感性较强的区域主要集中于北部山区，海拔较高并且生态资源相对丰富，对比其他县市级生态敏感性评价，高度敏感等级往往集中分布于研究区植被覆盖度相对较高的地区和山区，这与本研究结果相一致[23-24]；本研究所划分的3个大区与《阿勒泰地区“三线一单”生态环境分区管控方案》中阿勒泰市分区管控方案区划方案基本一致，具有较高的合理性与可信度。

所选取的7个评价因子，是最大程度与阿勒泰市生态环境和经济发展联系紧密的评价因子，能直观简单的反映出阿勒泰市的实际情况与存在的生态环境问题，但研究中也存在许多不足，如指标的选取不够全面，评价因子等级的确定存在一定的主观性，并且没有对阿勒泰市生态敏感性进行时间以及空间发展变化方面的研究，后续可以针对敏感性重心转移做深入探索。

6.2 结论

（1）在所选择的7个评价因子中，土地利用类型对生态敏感性评价影响最大，占总权重的35.41%。

（2）研究区总体综合生态敏感性偏高，中度级别以上敏感性地区占比超过60.00%，高度敏感等级区域面积为2946.40 km^2，占研究区总面积的27.34%，主要分布在中部低山丘陵、北部山区的河流沟谷内以及额河流域。

（3）根据综合敏感性评价结果将阿勒泰市分为生态保护区、生态提升区和生态防护治理区3个一级大区，具体细分为北部山地生态保护区、额河流域生态保护区、中部低山生态提升区、两河流域生态提升区、额河冲击平原生态防护治理区和准噶尔盆地边缘生态防护治理区6个二级区域。

（4）根据分区结果结合地区特点提出了开展GEP核算用于完善生态补偿，发展特色生态旅游、生态农业，推进生态修复与治理等生态产品价值实现模式，不仅为区域开展土地生态建设和保护提供了科学依据，而且为阿勒泰市生态产品价值实现提供有益参考。

参考文献（References）

[1] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. 生态学报, 2000, 20(1): 9−12. [Ouyang Zhiyun, Wang Xiaoke, Miao Hong. China’s eco-environmental sensitivity and its spatial heterogeneity[J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(1): 9−12.]

[2] 张林波, 虞慧怡, 李岱青, 等. 生态产品内涵与其价值实现途径[J]. 农业机械学报, 2019, 50(6): 173−183. [Zhang Linbo, Yu Huiyi, Li Daiqing, et al. Connotation and value implementation mechanism of ecological products[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(6): 173−183.]

[3] 李振亚, 魏伟, 周亮, 等. 中国陆地生态敏感性时空演变特征[J]. 地理学报, 2022, 77(1): 150−163. [Li Zhenya, Wei Wei, Zhou Liang, et al. Spatio-temporal evolution characteristics of terrestrial ecological sensitivity in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(1): 150−163.]

[4] 李洪庆, 杨瑀, 张俊红. 雅鲁藏布江山南宽谷流域生态安全格局构建[J]. 干旱区地理, 2023, 46(9): 1503−1513. [Li Hongqing, Yang Yu, Zhang Junhong. Construction of ecological security pattern in Shannan Wide Valley Basin of Yarlung Zangbo River[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(9): 1503−1513.]

[5] 陈瑶瑶, 罗志军, 齐松, 等. 基于生态敏感性与生态网络的南昌市生态安全格局构建[J]. 水土保持研究, 2021, 28(4): 342−349. [Chen Yaoyao, Luo Zhijun, Qi Song, et al. Ecological security pattern construction of Nanchang City based on ecological sensitivity and ecological network[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(4): 342−349.]

[6] 肖荣波, 欧阳志云, 王效科, 等. 中国西南地区石漠化敏感性评价及其空间分析[J]. 生态学杂志, 2005, 24(5): 551−554. [Xiao Rongbo, Ouyang Zhiyun, Wang Xiaoke, et al. Sensitivity of rocky desertification and its spatial distribution in southwestern China [J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(5): 551−554.]

[7] 刘培亮, 曹雪莹, 毛慧娟, 等. 国家级重点生态功能区的生态敏感性变化分析——以湖南省麻阳县为例[J]. 环境污染与防治, 2021, 43(9): 1151−1158. [Liu Peiliang, Cao Xueying, Mao Huijuan, et al. Analysis of ecological sensitivity changes in national key ecological functional areas: Taking Mayang County of Hunan Province as an example[J]. Environmental Pollution & Control, 2021, 43(9): 1151−1158.]

[8] 丁徽, 赵小敏, 郭熙, 等. 江西省鄱阳湖区生态敏感性评价[J]. 水土保持研究, 2020, 27(1): 257−264. [Ding Hui, Zhao Xiaomin, Guo Xi, et al. Evaluation of ecological sensitivity in Poyang Lake Area of Jiangxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(1): 257−264.]

[9] 梅堂军. 基于GIS技术的生态敏感度分区研究——以恩施州清

江流域为例[J]. 中外建筑, 2014(1): 69−72. [Mei Tangjun. Regional research of ecological sensitivity based on GIS techniques: Take Qing River Area in Enshi for example[J]. Chinese and Overseas Architecture, 2014(1): 69−72.]

[10] 陈谢扬, 李同昇, 朱小青, 等. 基于实际调查与观测解译对比验证的土地沙漠化敏感性评价——以陕西省为例[J]. 干旱区地理, 2023, 46(11): 1813−1825. [Chen Xieyang, Li Tongsheng, Zhu Xiaoqing, et al. Evaluation of land desertification sensitivity based on comparison and verification of actual investigation and observation interpretation: A case of Shaanxi Province[J]. Arid Land Geography, 2023, 46(11): 1813−1825.]

[11] 张涵. 基于生态敏感性评价的河流型湿地生态修复策略研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2021. [Zhang Han. Ecological restoration strategy of river wetland based on ecological sensitivity evaluation: A case study of Changxing wetland country park in Yongding River, Beijing[D]. Beijing: Journal of Beijing Forestry University, 2021.]

[12] 丁鸿浩, 赖宁静, 邓林昊, 等. 基于AHP-TOPSIS最优组合赋权的闽侯县生态敏感性评价[J]. 中国城市林业, 2022, 20(3): 94−101. [Ding Honghao, Lai Ningjing, Deng Linhao, et al. Ecological sensitivity evaluation of Minhou County based on AHP-TOPSIS optimal combination weighting[J]. Journal of Chinese Urban Forestry, 2022, 20(3): 94−101.]

[13] 张广创, 王杰, 刘东伟, 等. 基于GIS的锡尔河中游生态敏感性分析与评价[J]. 干旱区研究, 2020, 37(2): 506−513. [Zhang Guangchuang, Wang Jie, Liu Dongwei, et al. Analysis and evaluation of the ecological sensitivity in the middle reaches of the Syr Darya River based on GIS[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(2): 506−513.]

[14] 亚库普·约麦尔, 阿里木江·卡斯木. 喀什市土地利用变化下的生态敏感性研究[J]. 生态科学, 2016, 35(2): 19−25. [Yuemaier Yakupu, Kasimu Alimujiang. Ecological sensitivity analysis of land use change in Kashgar City[J]. Ecological Science, 2016, 35(2): 19−25.]

[15] 白天, 王鑫宇, 吴雅文, 等. 基于GIS-FLUS的漯河市域生态敏感性时空演变特征研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2022, 37(4): 710−719. [Bai Tian, Wang Xinyu, Wu Yawen, et al. Study of temporal and spatial evolution characteristics of ecological sensitivity in Luohe District based on GIS and FLUS[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science Edition), 2022, 37(4): 710−719.]

[16] 李广娣, 冯长春, 曹敏政. 基于土地生态敏感性评价的城市空间增长策略研究——以铜陵市为例[J]. 城市发展研究, 2013, 20(11): 69−74. [Li Guangdi, Feng Changchun, Cao Minzheng. Study of urban spatial growth strategy based on ecological sensitivity assessment: A case study of Tongling[J]. Urban Development Studies, 2013, 20(11): 69−74.]

[17] 蔡博峰, 穆彬, 方皓, 等. 基于自组织神经网络的生态敏感性分区——以北京市房山区为例[J]. 中国环境科学, 2008, 28(4): 375−379. [Cai Bofeng, Mu Bin, Fang Hao, et al. Ecological sensitivity division based on SOM: A case study of Fangshan District in Beijing[J]. China Environmental Science, 2008, 28(4): 375−379.]

[18] 周宾, 魏丽, 王瑛, 等. 模糊综合评价在青藏铁路西格段沿线生态环境影响评价中的应用[J]. 环境监测管理与技术, 2007, 19(3): 43−45. [Zhou Bin, Wei Li, Wang Ying, et al. Application on fuzzy synthetical evaluation in ecology environment impact assessment along the Xining-Golmud section among the Qinghai-Tibet railway[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2007, 19(3): 43−45.]

[19] 徐长林. 坡向对青藏高原东北缘高寒草甸植被构成和养分特征的影响[J]. 草业学报, 2016, 25(4): 26−35. [Xu Changlin. Variations in vegetation composition and nutrient characteristics related to aspect in an alpinemeadow in the northeast margin of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2016, 25(4): 26−35.]

[20] 谢高地, 张昌顺, 张林波, 等. 保持县域边界完整性的中国生态区划方案[J]. 自然资源学报, 2012, 27(1): 154−162. [Xie Gaodi, Zhang Changshun, Zhang Linbo, et al. China's county-scale ecological regionalization[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(1): 154−162.]

[21] Omernik J M, Bailey R G. Distinguishing between watersheds and ecoregions[J]. Journal of the American Water Resources Association, 2010, 33(5): 935−949.

[22] 方敏. 生态产品价值实现的浙江模式和经验[J]. 环境保护, 2020, 48(14): 25−27. [Fang Min. Zhejiang model and experience of realizing ecological product value[J]. Environmental Protection Science, 2020, 48(14): 25−27.]

[23] 周宏轩, 王昭清, 濮宏桐, 等. 基于植被区划和生态敏感性的中国煤矿生态恢复策略[J]. 煤田地质与勘探, 2022, 50(7): 145−156. [Zhou Hongxuan, Wang Zhaoqing, Pu Hongtong, et al. Ecological restoration strategies for coal mines in China based on vegetation zones and ecological sensitivity[J]. Coal Geology & Exploration, 2022, 50(7): 145−156.]

[24] 梁静一, 吴柏清. 基于功能性和敏感性的洛阳市生态分区研究[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(12): 16−22. [Liang Jingyi, Wu Baiqing. Research on ecological zoning of Luoyang City based on functionality and sensitivity[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2022, 61(12): 16−22.]

Implementation of ecological product value zoning based on land ecological sensitivity assessment: Using Altay City as an example

YAN Tianliang, WANG Chengwu, CHEN Mengxi, CHEN Xuan, ZHAO Wenjing
(School of Public Management, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China)

Abstract: A beautiful ecological environment is critical to the sustainable survival and development of humans and is a prerequisite for China's ecological civilization. The sensitivity evaluation of the ecological environment in Altay City, Xinjiang, China was performed using GIS software. The results are as follows: (1) The degree of sensitivity impact on the ecological environment in Altay City is ranked from large to small: land-use type>vegetation coverage>river buffer zone>road buffer zone>elevation>slope>aspect. (2) The overall ecological sensitivity of Altay City is high. Areas with high sensitivity or above account for 42.45% of the total study area and are mainly distributed in the northern mountainous and central hilly areas and around the Ertix River. Areas with low sensitivity levels are mainly distributed in the central hills and mountainous alluvial plains. (3) Based on the ecological sensitivity evaluation results, Altay City is divided into three regions: ecological protection zone, ecological improvement zone, and ecological protection and governance zone. Ecological product value realization models should be proposed on the basis of the characteristics of each zone, such as improving ecological compensation, distinctive ecological tourism, ecological agriculture, and conducting ecological governance and restoration, providing practical reference for the realization of ecological product value in Altay City.

Key words: ecological sensitivity assessment; ecological products; ecological zoning; value realization mode; Altay City